

mgr inż. BOŻENA SMAGOWSKA
 dr inż. WITOLD MIKULSKI
 inż. IZABELA JAKUBOWSKA
 Centralny Instytut Ochrony Pracy
 – Państwowy Instytut Badawczy
 Kontakt: bosma@ciop.pl

Materiały przeznaczone do stosowania w ochronach zbiorowych przed hałasem ultradźwiękowym – wyniki badań własnych

Fot. Jolanta Maj/CIO-PB



W artykule zamieszczono wyniki badań współczynnika pochłaniania wybranych materiałów. Opisano ponadto metodę badań tego współczynnika w zakresie hałasu ultradźwiękowego, opartą na pomiarze czasu pogłosu na stanowisku badawczym zawierającym sześcienną komorę badawczą. Sformułowano wymagania w zakresie stosowania materiałów w ochronach zbiorowych przed hałasem ultradźwiękowym.

Słowa kluczowe: pochłanianie dźwięku, hałas, ultradźwięki, ochrony zbiorowe

Sound absorbing materials for collective protections against ultrasonic noise – research results

This article presents results of research on the sound absorption coefficient for selected materials. It presents a method for testing this coefficient in the range of ultrasonic noise, which consists in measuring reverberation time on a test stand with a cubic test chamber. This article also discusses the requirements for using materials in collective protections against ultrasonic noise.

Keywords: sound absorption, noise, ultrasound, collective protection

Wstęp

Obecnie stosowane znormalizowane metody badań właściwości akustycznych materiałów, takich jak wyznaczanie współczynnika pochłaniania dźwięku oraz izolacyjności akustycznej stosuje się w zakresie częstotliwości

100 Hz ÷ 5 000 Hz [1]. W zakresie częstotliwości hałasu ultradźwiękowego brak jest znormalizowanej metody określania współczynnika pochłaniania dźwięku materiałów.

W Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym podjęto prace nad opracowaniem metody określania

współczynnika pochłaniania dźwięku materiałów w zakresie częstotliwości 10 – 40 kHz [2,3]. W artykule przedstawiono wyniki badań wstępnych wyznaczania współczynnika pochłaniania dźwięku wybranych próbek materiałów w badanym zakresie częstotliwości za pomocą metody, opartej na wyznaczaniu czasu pogłosu oraz ogólną ocenę ich przydatności do stosowania w ochronach zbiorowych w zakresie hałasu ultradźwiękowego.

Ograniczenie hałasu ultradźwiękowego

Zastosowanie przetworników ultradźwiękowych w wielu dziedzinach życia, przede wszystkim w hydrolokalacji i telekomunikacji podwodnej, przemyśle i medycynie [4] powoduje, że powszechna staje się obecność ultradźwięków w naszym otoczeniu, a szczególnie w środowisku pracy [5,6,7]. Technologie wykorzystujące ultradźwięki są coraz częściej stosowane w zakładach: poligraficznych, elektronicznych, motoryzacyjnych, włókienniczych, tekstylnych, spożywczych, zegarmistrzowskich, jubilerskich oraz optycznych. Ponadto przetworniki ultradźwiękowe znalazły zastosowanie w aparaturze medycznej używanej głównie w diagnostyce, fizykoterapii, chirurgii oraz stomatologii [4].

Na wielu stanowiskach pracy obsługi urządzeń w przemyśle występuje hałas ultradźwiękowy [8], w którego widmie występują składowe o wysokich częstotliwościach słyszalnych i niskich ultradźwiękowych, tj. od 10 do 40 kHz. Na podstawie literatury oraz badań własnych stwierdzić można, że praktycznie na wszystkich stanowiskach pracy obsługi technologicznych urządzeń będących źródłem tego hałasu i nieposiadających zabezpieczeń przeciwhałasowych występuje duże, niedopuszczalne ryzyko narażenia ludzi na ten rodzaj hałasu [5,6,9,11]. Szczególnie dotyczy to stanowisk obsługi maszyn i urządzeń starszej konstrukcji,

np. ultradźwiękowych drążarek czy zgrzewarek, które nie są wyposażone w ekrany lub obudowy przeciwhałasowe [10,11].

Jednym z rodzajów działań technicznych zmniejszających oddziaływanie hałasu na stanowiskach pracy są ochrony zbiorowe ograniczające hałas na drodze jego propagacji od źródła do pracownika. Ze względu na specyfikę hałasu ultradźwiękowego, polegającą na występowaniu narażenia głównie bezpośrednio w sąsiedztwie źródeł hałasu, najbardziej skutecznymi ochronami są zamknięte lub częściowe obudowy źródeł hałasu lub ekrany z materiałów charakteryzujących się dobrą izolacyjnością akustyczną i dobrymi właściwościami pochłaniającymi dźwięki. Właściwości te powinny być najlepsze w paśmie częstotliwości, w którym występuje największa emisja hałasu danego urządzenia. Do konstruowania obudów urządzeń ultradźwiękowych wykorzystuje się takie materiały, jak blacha stalowa, duraluminium, tekstolit, guma, pleksiglas, płyty pilśniowe twarde i miękkie, pianka poliuretanowa lub lateksowa, szyby itp. Dla osiągnięcia dużej skuteczności obudów ściany wykonuje się wielowarstwowo, a wewnątrz obudów stosuje się materiały pochłaniające [12,13].

Materiały oraz wyroby dźwiękochłonne odgrywają zasadniczą rolę w kształtowaniu warunków akustycznych w pomieszczeniach oraz w biernych zabezpieczeniach przeciwhałasowych, takich jak tłumiki urządzeń wentylacyjnych, obudowy maszyn czy ekrany. Istotny w przypadkach stosowania tych materiałów i ustrojów do poprawy klimatu akustycznego jest dobór ich zdolności pochłaniających w zakresie ultradźwięków. Zdolności te określa się za pomocą współczynnika pochłaniania dźwięku, którego wartości w zależności od rodzaju materiału wynoszą w zakresie od 0 – 1 i im bardziej zbliżona do 1 jest wartość tego współczynnika, tym lepsze są właściwości pochłaniające. Jako proste dla praktycznej oceny kryterium przydatności danego materiału, czy ustroju jako obiektu dźwiękochłonnego przyjęto wymaganie, aby $\alpha_i \geq 0,4$ w odpowiednim paśmie częstotliwości w zakresie 10 – 40 kHz [13].

Metoda badań współczynnika pochłaniania dźwięku materiałów

Pomiary współczynnika pochłaniania dźwięku α_i przeprowadzono w komorze badawczej opracowanej specjalnie dla badań w zakresie częstotliwości ultradźwiękowych w CIOP-PIB z uwzględnieniem tłumienia dźwięku w powietrzu [2,3,14]. Współczynnik pochłaniania dźwięku materiałów (w warunkach laboratoryjnych po uwzględnieniu tłumienia dźwięku w powietrzu) oblicza się

w tercjowych pasmach częstotliwości, w których wyznacza się czas pogłosu T_{pf} dla danego pasma o częstotliwościach środkowych f : 10, 12,5, 16, 20, 25, 31,5, 40 kHz wg wzoru:

$$\alpha_f = 1 - e^{\left[\frac{V}{S} \left(-\frac{0,161}{T_f} + 8 \cdot 10^{-8} \cdot f^{1,5727} \right) \right]}$$

gdzie:

T – czas pogłosu, w tercjowym paśmie częstotliwości o częstotliwości środkowej f (w zakresie 10000-40000 Hz), w s

V – objętość komory w m

S – pole powierzchni wewnętrznej komory (lub badanego materiału pokrywającego całą powierzchnię ścianek wewnętrznych), w m

f – częstotliwość środkowa pasma tercjowego z zakresu 10000-40000 Hz, w Hz.

Badania współczynnika pochłaniania dźwięku przeprowadza się na stanowisku badawczym składającym się z układu pomiarowego oraz miniaturowej, sześcienniej komory badawczej o objętości 2,7 m³ [2,3]. Zastosowana aparatura pomiarowa umożliwia uzyskanie płaskiej charakterystyki częstotliwościowej poziomu ciśnienia akustycznego w rozpatrywanym paśmie częstotliwości. Tor nadawczy składa się z generatora szumu, wzmacniacza mocy oraz wysokotonowego głośnika. Tor pomiarowy składa się z mikrofonu, przedwzmacniacza oraz systemu pomiarowego umożliwiającego wyznaczenie wymaganych wielkości w zakresie częstotliwości ultradźwiękowych (rys. 1.). Oprogramowanie do analizy dźwięku i drgań umożliwia pomiar poziomu ciśnienia akustycznego oraz czasu pogłosu (metodą szumu przerywanego) w rozpatrywanym zakresie częstotliwości.

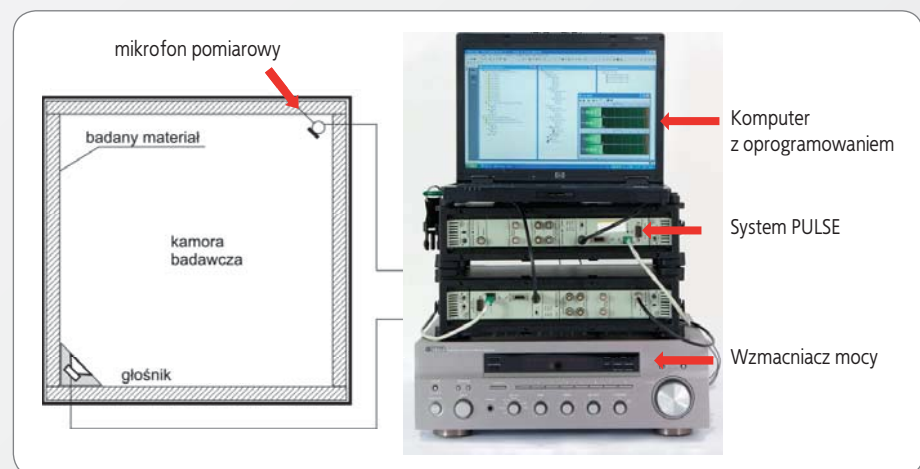
W trakcie badań wewnętrzne ściany komory ściśle pokrywa się badanym materiałem.

Następnie określa się czas pogłosu metodą szumu przerywanego w 8 równomiernie rozmieszczonych punktach pomiarowych (w rogach sześcienu pomiarowego, którego środek znajduje się w środku komory badawczej). Wynik uśrednia się arytmetycznie. Tak obliczony średni czas pogłosu stanowi jedną z wielkości w prezentowanym wzorze, z którego oblicza się współczynnik pochłaniania dźwięku badanego materiału

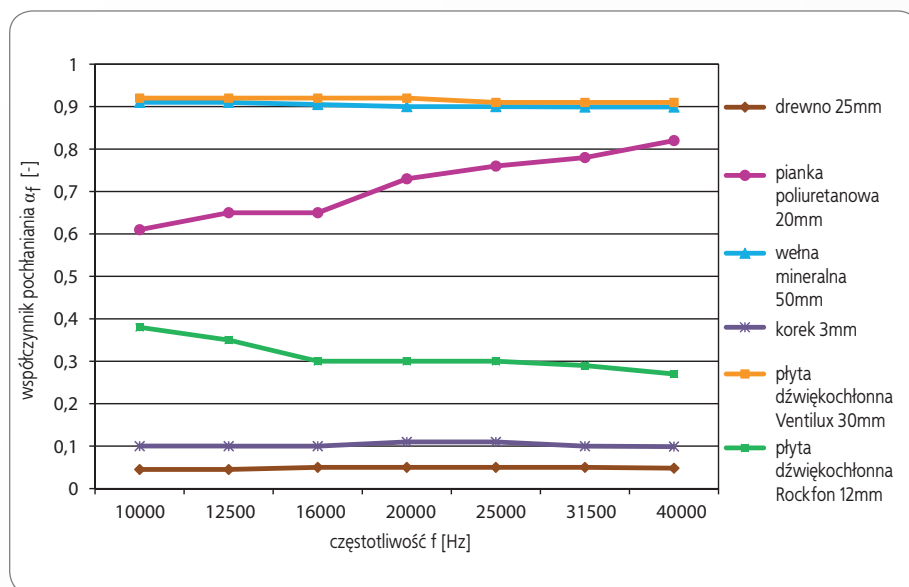
Wyniki badań

Do badań wybrano (dostępne na rynku) następujące próbki materiałów: drewno o grubości 25 mm, korek o grubości 3 mm, piankę poliuretanową o grubości 20 mm, wełnę mineralną o grubości 50 mm oraz płyty dźwiękochłonne: Ventilux o grubości 30 mm (z wełny mineralnej zbrojonej włóknem szklanym) oraz Rockfon o grubości 12 mm (ze skalnej wełny mineralnej). Niektóre z tych materiałów ze względu na akustyczne i inne własności użytkowe zostały pozytywnie sprawdzone w wielu zastosowaniach przeciwhałasowych w zakresie słyszalnym. Wyniki badań współczynnika pochłaniania dźwięku materiału w 1/3 oktaowych pasmach częstotliwości pokazano na rysunku 2.

Na podstawie otrzymanych wyników badań można stwierdzić, że wartości współczynnika pochłaniania dźwięku badanych próbek kształtują się w szerokim zakresie od 0,05 do 0,9. W przypadku drewna, korka, wełny mineralnej oraz płyty Ventilux wartość współczynnika dźwięku nie zmienia się w badanym zakresie częstotliwości. W przypadku drewna i korka wartość tej wielkości wynosi odpowiednio 0,05 i 0,1 co świadczy o ich słabych właściwościach pochłaniających, natomiast w przypadku wełny mineralnej o grubości 50 mm i płyty Ventilux osiąga wartość 0,9, co dowodzi silnych właściwości



Rys. 1. Schemat stanowiska do pomiaru współczynnika pochłaniania dźwięku materiałów
Fig. 1. Draft of the test stand for measuring of the sound absorption coefficient materials



Rys. 2. Współczynnik pochłaniania dźwięku materiału w 1/3 oktaowych pasmach częstotliwości: drewno 25 mm, pianka poliuretanowa 20 mm, wełna mineralna 50 mm, korek 3 mm, płyty dźwiękochłonne Ventilux 30 mm oraz Rockfon 12 mm
 Fig. 2. Sound absorption coefficient for materials in 1/3 octave frequency bands: 25 mm wood, 20 mm polyurethane foam, 50 mm mineral wool, 3 mm cork, 30 mm Ventilux soundproof boards and 12 mm Rockfon

pochłaniających tych materiałów. Wartość współczynnika pochłaniania dźwięku rośnie ze wzrostem częstotliwości w przypadku pianki poliuretanowej i zawiera się w granicach 0,5-0,8. Natomiast w odniesieniu do płyty Rockfon wartość współczynnika pochłaniania dźwięku nieznacznie maleje wraz ze wzrostem częstotliwości od 0,44 do 0,28.

Na podstawie uzyskanych wyników badań współczynnika pochłaniania dźwięku badanych materiałów oraz uwzględniając podane wcześniej ($\alpha_i \geq 0,4$) kryterium akustyczne najbardziej przydatne do zastosowania w zabezpieczeniach przed hałasem ultradźwiękowym są: płyta dźwiękochłonna Ventilux, wełna mineralna oraz pianka poliuretanowa. Płyta dźwiękochłonna Ventilux może być zastosowana jako ścianki obudowy maszyn lub urządzeń emitujących hałas ultradźwiękowy. Natomiast wełna mineralna oraz pianka poliuretanowa mogą być zastosowane do pokrycia powierzchni zabezpieczeń w celu wyłumienia odbić fali ultradźwiękowej lub w obudowach w celu wyłumienia fal odbitych rozprzestrzeniających się wewnątrz obudowy.

W warunkach rzeczywistych przy ocenie materiałów do stosowania w ochronach zbiorowych przed hałasem ultradźwiękowym należy uwzględnić nie tylko ich właściwości akustyczne (wielkość współczynnika pochłaniania dźwięku), ale również cechy użytkowe oraz warunki eksploatacyjne. W zakresie cech użytkowych należy wziąć pod uwagę: ciężar, odporność na ogień i podwyższone temperatury, odporność mechaniczną, odporność na korozję, sposób montażu i demontażu, możliwość renowacji oraz walory estetyczne.

Istotnym elementem stosowania materiałów są również warunki eksploatacyjne, w których mogłyby być wykorzystywane jako elementy ochrony przed hałasem, np. sposób (łatwość) uszczelnienia, częste zmywanie strumieniem wody, biodegradacja i brak zawartości toksycznych wydzielin podczas eksploatacji.

Podsumowanie

Wstępne badania wybranych materiałów, które mogłyby być zastosowane w ochronach zbiorowych przed hałasem ultradźwiękowym wykazały, że wyznaczenie ich współczynnika pochłaniania w zakresie ultradźwiękowym jest możliwe za pomocą zastosowanej metody wyznaczania czasu pogłosu w pasmach tercjowych w specjalnie opracowanej i wykonanej komorze badawczej. Zmierzona wielkość współczynnika pochłaniania dźwięku, wyznaczana w tercjowych pasmach częstotliwości z zakresu częstotliwości hałasu ultradźwiękowego, może stanowić podstawę do oceny właściwości akustycznych materiałów przeznaczonych do stosowania w ochronach zbiorowych przed hałasem ultradźwiękowym.

Przy określeniu współczynnika pochłaniania dźwięku metodą pomiaru czasu pogłosu, konieczne jest uwzględnienie tłumienia dźwięku w powietrzu, tak jak to zrobiono w przypadku wykonanych badań. Zastosowana metoda, ze względu na trudności eksperymentalne wyznaczenia zbyt krótkich czasów pogłosu przy dużym pochłanianiu, ma ograniczenie do wartości współczynnika pochłaniania nie większych niż 0,9.

Jeśli współczynnik pochłaniania materiału jest w danym zakresie częstotliwości > 0,9 to

w praktyce nie ma potrzeby badać jak się zachowa w warunkach laboratoryjnych, bo jego zdolność do 90% pochłaniania energii akustycznej jest wystarczająca dla wykorzystania go do celów użytkowych.

PIŚMIENNICTWO

[1] EN ISO 354:2003 *Acoustics. Measurement of sound absorption in a reverberation room*

[2] W. Mikulski *Method of Determining the Sound Absorbing Coefficient of Materials within the Frequency Range of 5 000 – 50 000 Hz in a Test Chamber of a Volume of about 2 m³*. "Archives of Acoustics" 2013, 38, 2

[3] W. Mikulski, D. Pleban *Metody pomiaru współczynnika pochłaniania dźwięku materiałów dźwiękochłonnych w zakresie częstotliwości powyżej 5000 Hz*. Konferencja Noise Control 2013, Ryn, Polska

[4] Śliwiński A. *Ultradźwięki i ich zastosowania*. WNT, Warszawa 2001

[5] Pawlaczyk-Łuszczrzyńska M., Dudarewicz A., Śliwińska-Kowalska M. *Theoretical Predictions and Actual Hearing Threshold Levels in Workers Exposed to Ultrasonic Noise of Impulsive Character - A Pilot Study*. JOSE 2007, Vol.13, No 4

[6] Pawlaczyk-Łuszczrzyńska M., Dudarewicz A., Śliwińska-Kowalska M. *Źródła ekspozycji zawodowej na hałas ultradźwiękowy – ocena wybranych urządzeń*. „Medycyna Pracy” 2007, 58, 2: 105-116

[7] Smagowska B. *Hałas ultradźwiękowy na stanowiskach maszyn i urządzeń ze sprężonym powietrzem*. „Bezpieczeństwo Pracy” 2011, 478-479, 7-8: 38-41

[8] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. DzU nr 217, poz. 1833, ze zm.

[9] Smagowska B. *Hałas ultradźwiękowy na wybranych stanowiskach pracy maszyn włókienniczych – ocena ryzyka zawodowego*. „Przegląd Włókienniczy – Włókno, Odzież i Skóra” 2012, 2, 42-46

[10] Mikulski W., Smagowska B. *Metoda oceny ryzyka zawodowego związanego z hałasem ultradźwiękowym*. „Bezpieczeństwo Pracy” 2007, 426, 3: 13-16

[11] Smagowska B., Mikulski W. *Hałas ultradźwiękowy na stanowiskach pracy drążarek ultradźwiękowych – ocena ryzyka zawodowego*. „Bezpieczeństwo Pracy” 2008, 445, 10: 18-22

[12] Pleban D. *Method of testing of sound absorption properties of materials intended for ultrasonic noise protection*. "Archives of Acoustics" 2013, 38, 2

[13] Engel Z., Sikora J. *Obudowy dźwiękochłonne-izolacyjne. Podstawy projektowania i stosowania*. Wyd. AGH, Kraków 1998

[14] Dobrucki A., Żółtogórski B., Pruchnicki P., Bolejko R. *Sound-Absorbing and Insulating Enclosures for Ultrasonic Range*, "Archives of Acoustics" 2010, 35, 2: 157-164

Publikacja opracowana na podstawie wyników II etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, sfinansowanego w latach 2011-2013 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.